

Analýza vlivu teploty a srážek na poptávku po pitné vodě

Ing. Vítězslav Malý
Ing. Lenka Slavíková, Ph. D.
Ing. Michael Rost, Ph. D.
Ing. Lubomír Petružela, CSc.
Ing. Ondřej Vojáček, Ph. D.
Mgr. Jan Kavan

Shrnutí problému

Poptávka po pitné vodě (dále jen poptávka ve smyslu *residential water demand*) během celého roku i krátkých limitních pozorování je velmi specifickou veličinou, ovlivněnou celou řadou faktorů. Cílem této studie je vysvětlit, jaký vliv má faktor **klimatických podmínek** na **celkový charakter poptávky**. Predikce klimatické změny indikuje dopady významné pro region ČR a jeho hydrologickou soustavu. Ze současných studií vyplývá, že lze očekávat změny srážkových úhrnů během jednotlivých ročních období, nárůst průměrných teplot a v neposlední řadě zvýšení územní i časové variability a intenzity extrémních událostí (deště, sucha, přívalové srážky, sněhové kalamity atd.). Všechny tyto klimatické jevy jsou považovány za proměnné faktory ovlivňující poptávku po vodě. Analýza se proto zaměřuje na objasnění vlivu úrovně teploty prostředí a srážek na odběry vody z veřejných zdrojů ve vytipované lokalitě ČR během celého roku, s důrazem na období „teplých měsíců“ (květen, červen, červenec, srpen, září), ve kterých dojde dle predikce klimatických změn k nejnámennějším posunům, jež ovlivňují spotřebu vody. K provedení analýzy byla využita denní data o odběru vody z veřejného vodovodu za jednotlivá spotřebišť a dále pak denní hydrometeorologická data o úrovni průměrné denní teploty ovzduší a denním úhrnu srážek. Sledovaným obdobím byly z hlediska dostupnosti dat roky 2004 – 2009. Datové soubory byly doplněny vlastním průzkumem, který zahrnoval zejména doplňkové zdroje vody (studny) a míru jejich využití.

1. Reflexe problému v zahraniční literatuře

Jak uvádějí Schleich a Hillenbrand (2008), poptávka po pitné vodě je ovlivňována celou řadou faktorů. Rozdělují je do tří charakteristicky podobných skupin – na ekonomické, sociální a přírodní faktory. Petružela (2009) uvádí celkem 4 okruhy faktorů, jež ovlivňují užívání vody, a to přírodní, technické, ekonomické a sociální. V rámci této studie jsou faktory rozděleny do šesti skupin na faktory klimatické, demografické, ekonomické, sociální, přírodní a technické.

Mezi **klimatickými faktory**, jež mají vliv na úroveň poptávky po vodě obecně, jsou v rámci zahraniční literatury nejčastěji uváděny veličiny určující charakter podnebí: úhrn srážek, teplota, evapotranspirace, délka slunečního svitu a směr a rychlost větru. Downing a kol. (2003), zabývající se vlivem změny klimatu na poptávku po vodě, vycházejí z celkových scénářů změny klimatu tak, jak je predikován dle studií zpracovaných v rámci programu UKCIP (UK climate impacts programme). Ve své studii váží změny poptávky po vodě na změny klimatu dle jednotlivých predikovaných scénářů klimatické změny, přičemž poptávku po vodě rozdělili na tři specifická odvětví – domácnosti, zemědělství a průmysl. Pro každé toto odvětví byly namodelovány 4 možné scénáře spotřeby, které byly následně korelovány se třemi možnými predikovanými vývoji klimatické změny. Klimatické faktory mají tedy různý vliv na jednotlivé specifické poptávky. Z výsledků jejich studie ve Velké Británii vyplývá, že poptávka domácností po vodě je nejméně závislá na změnách klimatu, konkrétně se spotřeba vody zvýší o 1,5 – 3 %. Průmysl vykazuje závislost o něco větší, 3,6 – 6,1 %. Největší dopad bude mít klimatická změna na zemědělství, kde je očekáván nárůst spotřeby vody až o 26 %. Herrington (1996) odhaduje, že dojde k nárůstu poptávky po vodě v roce 2021 (k počátečnímu období 1991) o 29 %, z čehož 4 % budou způsobena klimatickou změnou. Analýza Goodchild (2003) stanovuje průměrné zvýšení odběru vody na obyvatele o 3,3 l/den pro období vyznačující se vysokou evapotranspirací, nízkými srážkami (do 2 mm) a teplotou vyšší než 25 °C.

Kromě toho je charakter poptávky domácností v závislosti na klimatické změně významně ovlivněna ostatními faktory. Dle jednotlivých modelů spotřeby na základě analýzy Downing a kol. (2003) vyplývá, že spotřeba vody se k roku 2020 u středního scénáře klimatické změny zvýšila pro všechny čtyři modely, přičemž se denní spotřeba vody na obyvatele pohybovala od 115 l/den pro nejmírnější charakter spotřeby až po 200 l/den pro nejintenzivnější charakter spotřeby. Klimatická změna má dle této studie vliv na zvýšení spotřeby vody pro osobní potřebu (zvýšení frekvence sprchování) a také na zvýšení spotřeby vody pro zahradní účely (zalévání a bazény) (Downing a kol., 2003). Miao (1990) uvádí ve své studii, zaměřené na využití vody pro zemědělské účely, že počasí má významný dopad na poptávku po vodě v měsících, kdy je potřeba zavlažování.

Důležitou roli ve spotřebě vody u domácností budou hrát dlouhodobější sucha. Ta se podle studie Downing a kol. (2003) projeví u domácností ve dvou rovinách. Prvotně bude docházet k zvýšenému odběru vody, tudíž k zvýšení spotřeby. Postupně bude toto zvýšení eliminováno větší ochotou domácností šetřit s vodou, popřípadě si budou domácnosti vodu pro neosobní spotřebu (mytí aut, zalévání zahrádky) více obstarávat z jiných zdrojů (domácí studny, nádrže na dešťovou vodu atd.). V „sušším roce“ je očekáván nárůst spotřeby vody o 1%, což není nikterak významné (Downing a kol., 2003). Výše uvedené skutečnosti se týkají dlouhodobé spotřeby vody. Spotřeba vody je ovšem ovlivňována i krátkodobými výkyvy klimatických faktorů. Denní teplota a úroveň srážek v krátkém období ovlivňují spotřebu vody taktéž. Do jaké míry je jejich vliv zásadní a jak ovlivňují spotřebu vody je hlavním cílem této práce, proto se jimi budeme zabývat dále.

Přírodní faktory tvoří obecný rámec klimatických faktorů, které byly pro potřeby práce odděleny. Hlavními hydrologickými přírodními faktory jsou zejména srážkové poměry, síť vodních toků, útvarů podzemních vod, rostlinný kryt nebo odtokové poměry. Souhrnný vliv ekologických přírodních faktorů, jež limitují dostupnost a spotřebu vody, lze dle Petružely (2009) vztahovat k požadavkům na ekologické funkce vody. Tyto jsou vyjádřeny cílem udržet „dobrý ekologický stav“ ve smyslu Rámcové směrnice vodní politiky. K ostatním přírodním faktorům můžeme řadit tvar krajiny (orografie) nebo stav horninového prostředí (hydrogeologie). Přírodní faktory prvotně určují rozmístění, vydatnost a stabilitu zdrojů pro výrobu a dodávky pitné vody veřejnými vodovody nebo individuálního zajištění pitné vody pro domácnosti. V případě, že to legislativa dovoluje, dává možnost přímého užívání přírodních zdrojů vody domácnostem volbu, do jaké míry využívat vodovodní a kanalizační sítě. Využití těchto zdrojů je ovšem limitováno především jejich kvalitou a dále závisí na jejich dostupnosti a vydatnosti.

Technické faktory ovlivňující spotřebu vody můžeme rozdělit do dvou skupin – technologie dodávky a technologie spotřeby. První z nich, technologie dodávky vody, je determinována technickými možnostmi a kvalitou vodovodní a kanalizační sítě, s čímž jsou spojeny rozdílné náklady. Tento faktor je spotřebiteli vnímán prostřednictvím ceny vodného a stočného. Druhý faktor, technologie spotřeby, ovlivňuje odběr domácností prostřednictvím úrovně technického vybavení (myčky, pračky, senzory).

Demografické faktory určují charakter spotřebiště jako celku a jsou úzce provázány s faktory ekonomickými a sociálními. Dosažitelnost a množství vodních zdrojů primárně určuje hustotu a charakter osídlení, čímž zpětně ovlivňuje úroveň zásobování obyvatel a charakter poptávky. Pod tuto skupinu faktorů zahrnujeme např. strukturu obyvatelstva, věkové složení obyvatel, počet lidí žijících v dané zkoumané oblasti, počet malých a středních podniků, velkých podniků, nemocnice a mnohé další. Do určité míry slouží jako vysvětlující proměnné při zjišťování celkového chování a charakteru poptávky po pitné vodě v dané lokalitě. Jedním z nejvýznamnějších faktorů, jenž se promítá do charakteru poptávky, je

struktura bydlení¹. Spotřebitelé z bytových domů výhradně využívají vodovodní řad, kdežto rodinné domy mohou využívat i vody z jiných zdrojů. Obyvatelé, kteří vlastní studny, popřípadě mají přístup k povrchové vodě, snižují svoji spotřebu pitné vody z vodovodní sítě o 1,4 % (1,8 l za den) (Schleich a Hillenbrand, 2008). Ze studie Downing a kol. (2003) vyplývá, že zalévání zahrádek hraje ve spotřebě významnou roli. 10 % z celkové spotřeby domácností je využíváno na zalévání zahrad, přičemž se v budoucnu očekává nárůst spotřeby.

Ekonomické a sociální faktory jsou rozebrány v mnoha jiných studiích, jež se zaměřují výhradně na jejich určení (např. Veck a Bill, 1998; Dalhusian a kol., 2003, Downing a kol., 2003, Schleich a Hillenbrand, 2008).

Všechny tyto faktory mají vliv na finální úroveň odběru vody a jsou chápány společně a provázaně. Problém ovšem spočívá v šíři pojetí. Zkoumání všech faktorů najednou tak, aby byl vliv každého z nich dostatečně vysvětlen, je zcela nemožné nejen pro obsahovou šíři, ale i proto, že je fakticky nemožné získat všechna potřebná relevantní data. Schleich a Hillenbrand (2008) se ve své práci zaměřují na určení vlivu těchto faktorů na poptávku po vodě ve více než 600 územních oblastech v Německu. Uvádějí, že poptávka po pitné vodě je ovlivněna úrovní její ceny, příjmem domácností a jejich velikostí, věkovým složením a stářím obyvatelstva, podílem studní, popřípadě jiné formy získávání vody pro potřeby domácností, srážkami a teplotou. Z jejich výzkumu vyplývá, že úroveň klimatických proměnných nemá významný vliv na odběr vody. Dále uvádějí, že srážky mají na úroveň spotřeby větší vliv než teplota, proto jsou v případě klimatických změn relevantní zejména změny v úhrnu a struktuře srážek (včetně jejich absence). Klimatické změny tak mají nepřímý vliv na poptávku po vodě z vodovodních řadů, jelikož déletrvající sucha způsobují pokles podzemní vody, což bude mít za následek nefunkčnost studní v několika německých oblastech. Pro ověření a vyhotovení podrobné analýzy považují za nutné získání týdenních, popřípadě denních dat o odběru vody a o úrovni srážek a teploty (Schleich a Hillenbrand, 2008).

K studiím, jež se zaměřují na zjištění poptávky po vodě obecně a snaží se do určité míry zohlednit i faktor klimatu, lze zařadit studie Miao (1990) a Renwick a Green (2000). Miao (1990) využil ve svém modelu data o počtu deštivých dnů, přičemž se zaměřil zejména na využití vody pro zemědělské účely. Z jeho studie vyplývá, že počasí má významný dopad na poptávku po vodě v měsících, kdy je potřeba zavlažování. Renwick a Green (2000) využívají ve svém modelu maximální denní teploty vzduchu a měsíční kumulativní úroveň srážek. Nieswiadomy a Molina (1989) a Hewitt a Hanemann (1995) zahrnují do své studie vliv teploty a srážek také, ovšem tento vliv je velmi zjednodušený. Snaží se tuto proměnnou obejít prostřednictvím využití sezónních maxim (v létě a v zimě). Burkey (2002) používá ve svém modelu poptávky po vodě jako proměnnou k charakteristice klimatu evapotranspiraci. K

¹ Dle směrných čísel roční potřeby vody se spotřeba pitné vody liší u spotřebitelů žijících v bytových jednotkách a rodinných domech v závislosti na typu bydlení a pohybuje se od 16 m³ do 56 m³ (Příloha č.12 vyhlášky č. 428/2001).

výpočtu úrovně evapotranspirace bylo použito několik proměnných - tlak, teplota, rychlost větru, sluneční svit. Z výsledku studie vyplývá, že úroveň evapotranspirace má vliv na poptávku po vodě.

Celkově lze říci, že využitelnost současné literatury, jež se zabývá vlivem teploty a srážek na poptávku po vodě, je omezená. Zabývá se volným užíváním zdrojů i dodávkami z vodovodu a jejich kombinací za velmi rozličných podmínek. Výsledky jsou pak obtížně srovnatelné. Žádný z autorů se nezabýval otázkou vlivu srážek a teploty do takové míry, aby využíval denní data. Tato skutečnost je dána zejména tím, že získat potřebná data pro odpovídající modelaci je velmi složité a testování závislosti je nutné omezit pouze na relativně malé a jasně ohraničené území.

2. Data a metoda

V rámci studie bylo pro potřeby ekonometrického popisu závislosti odběru vody na teplotě a srážkách využíváno dvou skupin dat. První skupinu dat tvoří vysvětlující proměnné, které slouží k identifikaci dvou zájmových oblastí a objasňují jednotlivé faktory, které ovlivňují úroveň odběru vody. Druhou skupinu dat tvoří závislé proměnné, nutné k stanovení úrovně vlivu teploty a srážek na odběr vody u dvou specifikovaných lokalit.

2.1. Výběr a popis lokalit

Po dohodě s poskytovatelem dat - VOSS Sokolov, s.r.o. - byly vybrány oblasti Hrádek a Strašice. Obě obce jsou vlastníkem vodovodní a kanalizační sítě. Město Hrádek ji plně pronajímá VOSS Sokolov, s.r.o., obec Strašice naopak kanalizační síť spravuje sama a obyvatelé jí platí stočné.

Město Hrádek leží přibližně 5 km jihovýchodně od Rokycan v nadmořské výšce 440 m, poblíž vojenského újezdu Brdy (pohoří Brdy). Obec Strašice leží 12 km jihovýchodně od Rokycan v nadmořské výšce 498 m a od Hrádku je vzdálena přibližně 8 km, přičemž taktéž leží v těsném sousedství vojenského újezdu Brdy (pohoří Brdy). Klimatické charakteristiky obou území jsou de facto stejné, obě spadají do oblasti mírně teplé, vlhké – vrchovinné (Pšeničková, 2006). Roční srážkové úhrny pro město Hrádek se pohybují v rozmezí mezi 501 – 600 mm, pro obec Strašice pak činí 601 – 700 mm. Vojenský újezd Brdy významně ovlivňuje přírodní (zejména hydrologické) podmínky obou obcí. Brdské pohoří představuje pro obec Strašice zásobárnu kvalitní a čisté vody nejen povrchové (potok Klabava, Tisý, Veský, Padrtšské rybníky), ale i co do kvality a množství vod podzemních. Hrádek se z

hlediska toku povrchových vod nachází níže po proudu říčky Klabavy, která je jediným zdrojem povrchové vody v obci, tj. využívá taktéž vody shromážděné v pohoří Brdy.

Dostatečné množství podzemní a povrchové vody v obou lokalitách umožňuje domácnostem využívat nejen vodu z vodovodního řadu, ale v některých případech i odděleně využívat možnosti individuálního zásobení. Průměrná spotřeba vody (bez velkých podniků) činila 314 m³/den pro Hrádek a 202 m³/den pro Strašice, na obyvatele činila 106 l/den, respektive 83 l/den. Odběr vody na osobu ve Strašicích je znatelně nižší než odběr v Hrádku, což je způsobeno vyšším využíváním individuálních zdrojů vody obyvatelstvem.

Ve Strašicích byla teprve v roce 2010 dokončena kanalizace a k vodovodnímu řadu se stále podle místostarosty obce² nepřipojila přibližně šestina staveb s číslem popisným. Většina domů byla ještě na začátku století odkázána pouze na vodu čerpanou ze studní (vodovod sice vedl celou vesnicí, nicméně vlastníci domů se k němu nepřipojili). Kromě toho jednotlivé domy připojené na vodovodní řad stále využívají jako variantu vodu ze studní, která splňuje požadavky na pitnou vodu.

V Hrádku má podzemní voda kvalitu nižší a je označena pouze jako voda užitková. Počet rodinných domů s vlastní studnou je taktéž relativně nižší než v obci Strašice, kde studnu vlastní prakticky každý. Dle odhadu starosty obce využívá vlastní studnu přibližně polovina rodinných domů. V létě lidé využívají vodu ze studní převážně na zalévání zahrádek, nicméně v zimě není výjimkou, že zcela přejdou na vlastní zdroj ze studny a centrální systém nevyužívají. Obec je také vlastníkem několika studní, které jsou převážně v havarijním stavu a víceméně se nevyužívají. Na rozdíl od obce Strašice jsou městské studny (5 studní) v obci Hrádek plně využívány obyvatelstvem. Kvalita vody v nich je pouze užitková a je využívána zejména zahrádkáři v letním období v objemu cca 2 – 4 m³/den³.

Demografické charakteristiky obou obcí jsou uvedeny v následující tabulce.

² Rozhovor s místostarostou obce Strašice Ing. Neradem ze dne 15. 10. 2010.

³ Rozhovor se starostou města Hrádek Ing. Perlíkem ze dne 15. 10. 2010.

Tabulka 1: Demografické ukazatele

Ukazatel	Hrádek	Strašice
Počet obyvatel	3003	2436
Počet popisných čísel	514	660
Z toho: bytových domů		
počet bytů v nich	30	27
počet obyvatel bydlících v nich	756	500
Počet chat/sezónních nemovitostí	cca 1 500	1 100
Počet podnikatelských subjektů	91	cca 200
Počet velkých podniků (velkých odběratelů vody)	518	462
	1	1 ⁴

Zdroj: Vlastní srovnání podle veřejné databáze ČSÚ

Predikovaná klimatická změna vychází z výsledků regionálních klimatických modelů projektu PRUDENCE (Christensen a Christensen, 2007) a studie (Kavan a kol., 2010) zaměřené na povodí řeky Vltavy, ve které se nacházejí obě zkoumané lokality. Pro oblast střední Evropy je předpokládán průměrný nárůst teploty o cca 3,5°C (+-1,5°C) s relativně rovnoměrným rozložením během roku (Christensen a Christensen, 2007). Tento nárůst se vztahuje na období 2070 – 2100 v porovnání s obdobím 1960 – 1990. Simulace srážkových úhrnů nejsou tak konzistentní, jako je tomu v případě teplot, jsou zatíženy vyšší mírou nejistoty. Nehledě na to lze definovat určité obecně platné charakteristiky. Celkový roční úhrn srážek na našem území se pravděpodobně příliš nezmění, část klimatických modelů predikuje mírný pokles, část mírný nárůst (-5% až +5%) (Christensen a Christensen, 2007). Podstatná je tedy především změna v ročním chodu srážek. Dochází k navýšení srážek v zimním období a naopak k úbytku srážek během léta (10 až 20%). Na tyto klimatické faktory bude logicky reagovat i hydrologický systém, a to především navýšením zimních průtoků a naopak sníženými průtoky v letním období. Tento fakt může hrát významnou roli v prohlubování a prodlužování období hydrologického sucha (typicky červen - září) (Kavan a kol., 2010). Tyto závěry pro povodí Vltavy jsou obecně platné i pro naše zájmové území, nicméně vzhledem k charakteru oblasti budou očekávané následky klimatické změny na situaci ve vodním hospodářství pravděpodobně spíše mírnější. To je dáno především horským charakterem oblasti (Brdy) a s tím souvisejícím vyšším srážkovým úhrnem (následně též průtoky). Jinak řečeno, i přes významné změny klimatických charakteristik a hydrologického režimu lze tuto oblast chápat z pohledu zajištění vodních zdrojů jako relativně (ve srovnání s jinými částmi povodí Vltavy) málo náchylnou (Kavan a kol., 2010).

⁴ V rámci Strašic jsou jako velký odběratel evidována bývalá vojenská kasárna, ve kterých v současnosti působí několik firem. Ty dohromady tvoří jeden celkový odběr za kasárna.

2.2. Odběrová data

Po jednání se zástupci podniku VaK byla poskytnuta data uvedená v tabulce č. 2. Data jsou vždy za celé spotřebišť, tj. za všechny podniky a domácnosti v dané lokalitě.

Tabulka 2: Získaná data

Data			
Denní	Měsíční	Čtvrtletní	Roční
Odběr vody z vodojemu Janov	Fakturovaná voda	Ztráty ve vodovodní síti	Roční souhrny za celé spotřebišť
Odběr vody z úpravny vody Strašice	Odběr vody pro úpravnu	Nefakturovaná voda, fakturovaná voda	Roční ztráty ve vodovodní síti
Havárie vody	Odběr vody pro velké podniky	Voda určená k realizaci	
	Voda k realizaci a nefakturovaná voda		
	Souhrnný odtok z vodojemů		

Zdroj: Vlastní srovnání na základě údajů VOSS Sokolov, s.r.o.

Závislé proměnné k stanovení úrovně vlivu teploty a srážek na odběr vody byly v rámci studie rozděleny do dvou skupin dat – hydrologická data a odběrová data.

Odběr vody z vodojemu Janov (pro oblast Hrádku) a z úpravny vody Strašice (pro oblast Strašic) jsou denní data uváděná v m³. Soustavy Janov a Hrádek jsou uvedeny v příloze č. 1. Pro potřeby analýzy jsou tato data klíčová, i když je bylo zapotřebí dále očistit. Z těchto dat se v rámci práce odvozuje denní odběr vody pro domácnosti, malé a střední podniky a veřejné instituce. Jedná se o vodu dodanou z vodojemu nebo přímo z úpravny do příslušného spotřebiště.

Tento údaj se v rámci získaných dat pro obě spotřebišť nazývá voda vyrobená (VV) a zahrnuje v sobě vodu fakturovanou (VF) u jednotlivých odběratelů, ztráty ve vodovodní síti (Zt) a vodu využitou pro úpravnu vody (Vúp). Voda vyrobená se tedy skládá dle vzorce

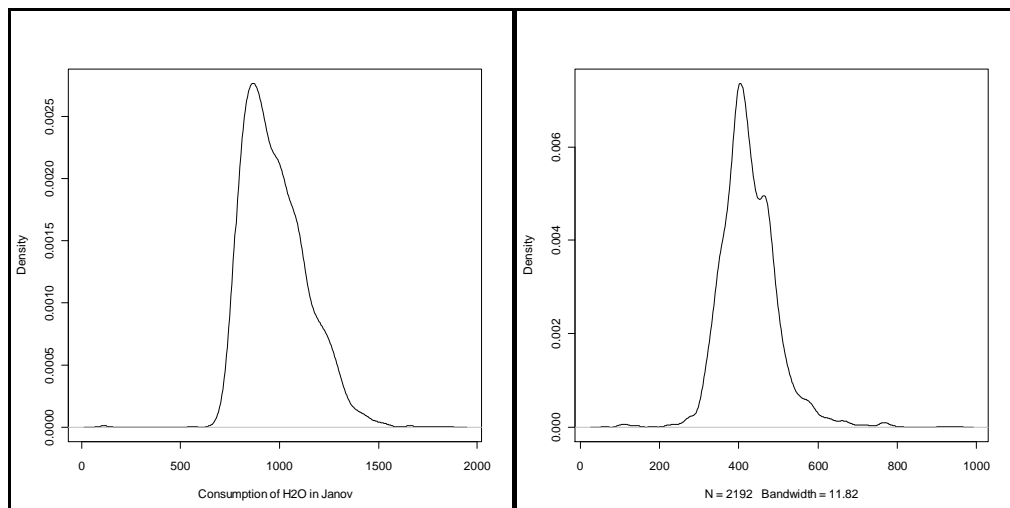
$$\mathbf{VV = VF + Zt + Vúp.}$$

Rozdělení odběru vody do oblasti Hrádek a Strašice znázorňuje graf 1⁵, z něhož je patrné, že odběr vody z vodojemu Janov byl takřka 2x vyšší než odběr vody z úpravny vody Strašice. Tento rozdíl byl dán odběrem vody pro podnik Železářny Hrádek a.s., jenž odebíral v průměru 24 % vody z celé denní spotřeby, a taktéž většími ztrátami ve vodovodním řadu,

⁵ Rozdělení bylo provedeno prostřednictvím kernelovského odhadu hustoty pravděpodobnosti s využitím gaussovského jádra. Dále prostřednictvím Box-Whiskersova diagramu. Numerické vyhodnocení bylo provedeno prostřednictvím základních popisných charakteristik spolu s odhady vybraných kvantilů.

kteře dosahovaly ve sledovaném období pro město Hrádek až 61 %. U obce Strašice to bylo maximálně 49 %.

Graf 1: Rozdělení spotřeby v oblasti Hrádek a Janov



Zdroj: Vlastní

Z výsledků provedených popisných charakteristik vyplývá, že 50 % hodnot odběru vody pro lokalitu Hrádek se pohybuje v intervalu 264,4 až 361 m³ za den a 170,6 až 229,9 m³ za den pro obec Strašice. Odběry vody v obou oblastech jsou přitom pevně ohraničeny minimálními odběry, tj. v oblasti minimálních odběrů je menší variabilita, kdežto maximální odběry v rámci rozdělení spotřeby mají variabilitu větší. To svědčí o tom, že obě spotřebišťe odebírají pro svoji potřebu relativně pevně stanovené minimální množství vody, které posléze roste v závislosti na faktorech ovlivňujících denní potřebu.

2.3. Klimatická data

Jednotlivé analýzy zpracované v rámci studie využívají jako nezávislé klimatické proměnné průměrnou denní teplotu a denní úhrn srážek. Zahraniční studie o vlivu klimatických proměnných na poptávku po vodě využívají ve svých modelech i jiné proměnné. Miao (1990) využil ve svém modelu data o počtu deštivých dnů, Renwick a Green (2000) použili maximální denní teploty vzduchu a měsíční kumulativní úroveň srážek. Nieswiadomy a Molina (1989) a Hewitt a Hanemann (1995) zahrnují do své studie vliv teploty a srážek, ovšem tento vliv je velmi zjednodušený, jelikož využívají sezónních maxim (v létě a v zimě). Burkey (2002) používá v svém modelu poptávky po vodě jako proměnnou charakterizující klima evapotranspiraci. Pro výpočet úrovně evapotranspirace použil několik proměnných - tlak, teplotu, rychlost větru, sluneční svit. Z výsledku studie vyplývá, že úroveň evapotranspirace má vliv na poptávku po vodě.

Klimatická data byla získána od Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ). Data o denních úhrnech srážek byla změřena ve srážkoměrné stanici Holoubkov, denní průměrná teplota byla naměřena v klimatologické stanici Plzeň-Bolevec pro období od roku 2002 do roku 2004 a v klimatologické stanici Plzeň-Mikulka pro období 2005 až 2009. Tato meteorologická stanice se nalézá blíže zájmovému území, nicméně zahájila provoz až v roce 2005, proto musela být data z jejího měření doplněna o data ze vzdálenější stanice Plzeň-Bolevec. Srážkoměrná stanice Holoubkov se nachází 5 km od zájmových oblastí, Plzeň-Bolevec a Plzeň-Mikulka ve vzdálenosti cca 25 km.

2.4 Metoda analýzy

Získaný datový soubor informací o klimatických a odběrových charakteristikách zájmových území byl nejprve očištěn tak, aby jej bylo možné použít pro statistickou analýzu dat, jelikož data o odběru vody z vodojemu Janov a úpravny vody Strašice byla evidována pro celé spotřebišťe, bez zohlednění úrovně ztrát a dalších zkreslujících faktorů. Hydrometeorologická data nebylo zapotřebí upravovat. Úprava hrubých dat o odběru vody vycházela z rovnice určující spotřebu domácností a malých a středních podniků ($VV = VF + Zt + VF_{vp} + Hv$)⁶. Denní odběry vody z vodojemu a úpravny vody byly nejprve očištěny o ztráty ve vodovodní síti. Ty byly vypočítány z měsíčních údajů o ztrátách za každé čtvrtletí v zájmových oblastech, tedy separátně pro oblast Hrádek i Strašice. Ztráty ve vodovodní síti Hrádek se pohybovaly v rozmezí od 52 % - 61 %, pro síť Strašice pak 33 % - 49 %. Posléze byly od těchto dat odečteny denní evidované úniky vody během havárií a odběry velkých podniků (Železárny Hrádek, a.s. a areál bývalých vojenských kasáren).

Analýza odběru vody v závislosti na úrovni teploty a srážek byla provedena nezávisle pro obě zájmové oblasti Hrádek a Strašice tak, aby mohla být obě území vzájemně porovnána. Pro obě území byly zpracovány dvě analýzy. První model odběru vody pro období celého roku, druhý model se zaměřoval na období teplých měsíců květen – září tak, jak je slučitelné s hlavním cílem této analýzy, kterým je objasnit, jaký vliv mají klimatické faktory a s tím spojená klimatická změna na úroveň odběru vody.

Vzhledem k tomu, že distribuce sledovaných veličin (spotřeba, srážky, teplota) vykazuje porušení normality⁷, bylo pro další konstrukci modelu chování spotřeby pitné vody v území použito metodologie CART, která je v tomto smyslu neparametrickou metodou. S ohledem na charakter vysvětlované proměnné, tj. spotřeba – odběr vody, bylo využito metody regresních stromů. Princip regresních a klasifikačních stromů spočívá v opakovaném – rekurzivním – dělení prostoru hodnot vysvětlujících proměnných vždy na dvě části, a to tak, aby bylo vždy

⁶ VV = voda vyrobená, VF = voda fakturovaná, VF_{vp} = voda fakturovaná velkým podnikům, Zt = ztráty ve vodovodní síti, Hv = havárie.

⁷ Ověřeno prostřednictvím Shapirova-Wilkova testu.

dosaženo dvou co nejhomogennějších částí, které vedou k co možná největšímu poklesu reziduální sumy čtverců (Breiman a kol., 1984)⁸.

Pro analýzu sezónní složky spotřeby vody v obou územích byla navíc provedena analýza časové řady měsíčních úhrnů. Dekompozice byla provedena prostřednictvím sezónní a trendové dekompoziční procedury, založené na lokálně vážené regresi. Časová řada byla rozložena na 3 složky – trend, sezónní složku a reziduální složku (Cleveland a kol., 1990)⁹.

Poslední provedenou analýzou v rámci studie byla analýza suchých období. Analýza se zaměřuje na období, která lze považovat v našich podmínkách za sucha¹⁰.

3. Analýza a její výsledky

Predikční modely zpracované pomocí metodologie CART jsme v rámci analýzy rozdělili na dvě skupiny. První skupinou výsledků je model odběru vody pro celoroční období zvláště pro obě zájmová území Hrádek a Strašice. Druhou skupinou jsou pak výsledky pro model odběru vody pro období teplých měsíců květen – září.

3.1 Analýza odběru vody pro celoroční období

V rámci provedené analýzy (metodologie CART) bylo statisticky postupováno pro obě území následujícím způsobem. Tento postup byl stejný jak pro odběr vody pro celoroční období, tak i pro analýzu odběru vody pro období teplých měsíců květen – září.

Nejprve byl vytvořen dostatečně rozvětvený strom, ze kterého byla postupným ořezáním vytvořena množina „podstromů – submodelů“ (získáme je volbou různé hodnoty c_p). Z nich byl následně vybrán model – strom s nejmenší cross-validační chybou. Následně byla z tohoto stromu odvozena klasifikační pravidla. Upřesnění získaných výsledků je znázorněno v boxu č.1.

⁸ Více informací viz Breiman a kol., 1984.

⁹ Více informací viz Cleveland a kol., 1990.

¹⁰ „*Sucho je deficit nastávající v okamžiku, kdy půdní vlhkost nestačí pokrýt požadavky půdní potenciální evapotranspirace.*“ V našich podmínkách se tedy jedná o sucho způsobené proměnlivostí srážek. (CRITCHFIELD, 1984).

Box 1: Klasifikační pravidla pro oblast Hrádek

Pro zájmové území Hrádek bylo stanoveno celkem 56 různých regresních stromů, které vznikly volbou různé hodnoty parametru složitosti. Na základě těchto výsledků lze říci, že nejmenší cross-validační chyby bylo dosaženo v případě modelu 5, tj. pro strom vzniklý nastavením parametru složitosti cp na hodnotu 0,006466 (viz příloha č. 1). Cross-validační chyba činila 0,9105, tj. regresní strom s 5 uzly snížil reziduální sumu čtverců o 8,95 %. V příloze č. 2 je uveden regresní strom při volbě parametru složitosti $cp = 0,006466$.

Získaná klasifikační pravidla lze popsat následujícím způsobem:

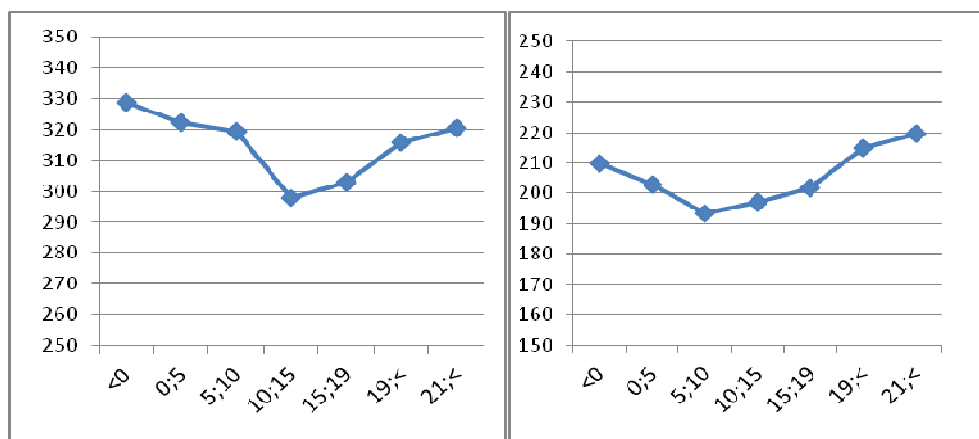
- Je-li měsíc květen, červen, červenec nebo říjen a teplota je vyšší než 19,95 °C, pak lze predikovat odběr H_2O v objemu 311 m³.
- Je-li měsíc červen nebo červenec a teplota je nižší než 19,95 °C, pak lze predikovat odběr H_2O v objemu 261,5 m³/den.
- Je-li květen nebo říjen a teplota je nižší než 19,95 °C, pak lze predikovat objem odebrané H_2O hodnotou 296,5 m³/den.
- Je-li listopad až leden nebo srpen až září, pak lze predikovat odběr vody o objemu 317,9 m³/den.
- V ostatních měsících (mimo výše uvedené) lze v případě teploty nižší než 13,05 °C predikovat odběr vody o objemu 337,6 m³/den. Je-li však teplota vyšší než 13,05 °C, pak lze predikovat odběr vody o objemu 390,9 m³/den.

Z výsledků metodologie CART vyplývá několik zajímavých zjištění. Předně je důležité zdůraznit, že predikční schopnost obou navržených modelů, tedy jak pro Hrádek, tak pro Strašice, je velmi nízká až žádná. V oblasti Hrádek snížil regresní strom reziduální sumu čtverců o 8,95 %, tj. vysvětlil variabilitu odběru vody v závislosti na teplotě a srážkách o 8,95 %. U Strašic tato hodnota byla pouze 0,3 %. Obě tyto hodnoty jsou velmi nízké. Lze tedy vyslovit domněnku, že odběr vody ve sledovaných územích je ovlivněn spíše jinými faktory, které však nejsou v této studii sledovány.

Druhým zjištěním je fakt, že se při odvozování regresních stromů prakticky neuplatnila proměnná srážky, ale pouze teplota vzduchu a „roční období“. Z predikčního modelu lze tedy usuzovat, že odběr vody je na základě analyzovaných dat spíše závislý na teplotě než na srážkách, a to jen velmi málo.

I přes nízkou hodnotu predikční schopnosti z dané analýzy odběru vody pro celoroční období vyplývá, že s růstem/poklesem teploty okolo průměrných hodnot v rozmezí cca 10 – 15 °C roste spotřeba vody. Jinak řečeno, odběr vody vykazuje parabolickou funkci, jak znázorňuje následující graf.

Graf 2: Průměrný odběr vody v závislosti na teplotě (Hrádek a Strašice)



Zdroj: Vlastní výpočty

Nejnižší odběr vody byl jak pro oblast Hrádek, tak i pro oblast Strašice při teplotě vzduchu kolem 10 °C, nezávisle na objemu srážek a ročním období. Nejvyšší odběry vody jsou naopak při teplotě vzduchu vyšší než 21°C a nižší než 0°C. Rozdíl v jednotlivých teplotních intervalech je ovšem minimální a pohybuje se v odchylce 4 % pro Strašice a 8 % pro Hrádek od průměrného odběru za celý rok (202 m³/den, 314 m³/den). Vzhledem k zjištěným údajům o počtu a využívání studní v obou zájmových oblastech můžeme usoudit, že spotřeba vody je v letních měsících mírně zkreslena o vodu, která je čerpána pro potřeby domácností ze studní. Započítáme-li denní hrubý odhad využívání jak obecních, tak i domácích studní v rozmezí 2 – 4 l¹¹ na osobu a den, dostaneme se na hodnoty o několik m³ vyšší (6 - 12 m³/den pro Hrádek, 5 – 10 m³/den pro Strašice) než byla hodnota skutečného odběru vody z vodovodního řadu. Do tohoto výpočtu jsou zahrnuti všichni obyvatelé obce, tj. i občané bydlící v bytových domech. Naproti tomu nejsou do výpočtu zahrnuti distanční (nerezidentní) spotřebitelé (např. zahrádkáři, chataři). Je ovšem důležité zmínit, že tento údaj je velmi orientační, jelikož lze jen těžko ověřit, kolik vody jednotlivé domácnosti skutečně čerpají ze svých vlastních zdrojů. Uvedený interval je ovšem slučitelný s výše uvedenými studiemi (Schleich a Hillenbrand, 2008 a Downing a kol., 2003). V případě plného využívání vody z vodovodního řadu by tak došlo k nárůstu průměrné odchylky vzhledem k průměrnému ročnímu odběru o 6 % (o 2 % více) pro Hrádek a o 13 % pro Strašice (o 4 % více).

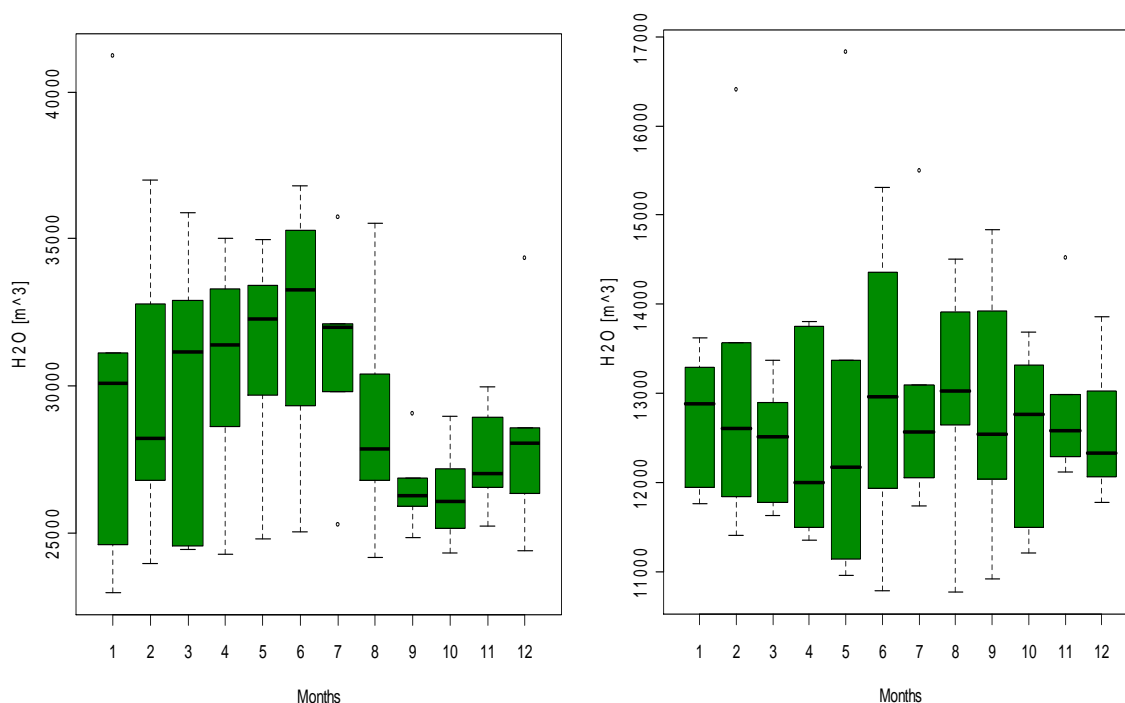
3.2 Analýza sezónní složky pro spotřebu vody

Pro potvrzení námi uvažované hypotézy, že úroveň odběru vody závisí na jednotlivých ročních obdobích, byla provedena taktéž analýza sezónní složky spotřeby vody zvláště pro obě zájmová území.

¹¹ Rozhovor se zástupci obcí Strašice a Hrádek ze dne 15. 10. 2010.

Z výsledků provedené dekompozice časové řady pro Hrádek je zřejmé, že odběr vykazuje sezónní kolísání odběru vody kolem trendu, který má spíše neklesající tendenci. Lze říci, že v měsících cca od března do konce června dochází k periodickému nárůstu odběru vody. V těchto měsících lze odběr charakterizovat jako nadprůměrný („fáze vrcholu“). Největší sezónní odběry vykazují měsíce červen, červenec a květen (viz levá část grafu 3). V ostatních měsících je spotřeba výrazně nižší. Měsíce září, říjen a listopad jsou z hlediska odběru podprůměrné.

Graf 3: Box-Whiskersovy diagramy spotřeby vody v katastru Hrádek a Strašice pro jednotlivé měsíce.



Zdroj: Vlastní

Z dekompozice časové řady u obce Strašice je zřejmé, že odběr vykazuje sezónní kolísání odběru vody kolem trendu, který má spíše „neklesající“ tendenci. Lze říci, že v měsících cca od května do konce srpna dochází k periodickému zvýšení odběru vody. V těchto měsících lze odběr charakterizovat jako nadprůměrný („fáze vrcholu“). Největší sezónní odběry vykazují však únor (sezónní komponenta 391,37) červen a srpen (viz tabulka, sloupec Sezónní komponenta). V ostatních měsících je spotřeba výrazně nižší. Měsíce září, říjen, listopad a prosinec jsou z hlediska odběru podprůměrné. Měsíc říjen vykazuje naopak nejnížší sezónní komponentu (-302,9).

Obě dvě zkoumaná území tak vykazují podobný trend, kdy je nižší odběr vody z vodovodního řádu během podzimních měsíců (září, říjen, listopad, prosinec) a naopak vyšší odběr vody v letních měsících (květen, červen, červenec, srpen).

3.3. Analýza odběru vody pro období teplých měsíců květen - září

Stejně jako u analýzy odběru vody během celého roku bylo pro tuto dílčí analýzu využito metodologie CART. Postup stanovení závislostí byl tedy stejný (viz box 1), přičemž predikční schopnost modelu byla opět velmi nízká. Snížení reziduální chyby o 10,37 % pro oblast Hrádek a 3,6 % pro oblast Strašice je téměř zanedbatelné a můžeme vyvodit závěr, že odběr vody není v rámci takto provedené analýzy nikterak závislý na klimatických faktorech. Proměnná srážky se v rámci zvoleného modelu neuplatnila a predikční model stanovil závislost odběru pouze na teplotě. Z výsledků vyplývá, že při nižších teplotách v rámci teplých měsíců je odběr vody z vodovodního řádu nižší o cca 14 % pro oblast Hrádek a o 15 % pro oblast Strašice než v případě teplot vyšších. Pro Hrádek navíc platí zjištění, že v případě teplých dnů během června a července je odběr vody znatelně vyšší (cca o 14 %) než u teplých dnů v ostatních měsících, jež jsou brány v úvahu.

3.4. Analýza suchých období

Analýza identifikuje vztah poptávky po vodě v časových řadách, které vykazují srážkový nedostatek v kombinaci s vysokými průměrnými teplotami, tj. zaměřuje se na období, jež lze považovat v našich podmínkách za sucha¹². K určování sucha a jeho intenzity je v meteorologii využíváno celé řady indexů (Palmerův index, Thornthwaitův index srážkové efektivity, Mungerův index a podobně). V rámci ČR můžeme za nejvýznamnější metodu považovat studii Rožnovský a Litschmann (2004) hodnotící sucha na Moravě v roce 2003. V rámci této studie využívají indexu meteorologického sucha (IMMS). Pro účely analýzy vztahu odběru vody na suché období během letních měsíců v práci vycházíme z využití Blumenstockova indexu (1942), který sucho definuje jako bezsrážkovou periodu, která je ukončena úhrnem srážek 2,54 mm nebo více v posledních 48 hodinách. (Heim, 2002). K určení suchého období vytvořil Blumenstock index pravděpodobnosti $p = 1 - S/D$, kde S je celkový počet suchých dní jdoucích po sobě a D celkový počet suchých dní v celkovém sledovaném období. Pro určování suchého období bylo taktéž využito metody, kterou používají ve své práci Potop a Turkott (2007). Ti považují za bezsrážková taková období, v nichž nebyly minimálně deset po sobě jdoucích dní naměřeny žádné srážky, případně byly

¹² „*Sucho je deficit nastávající v okamžiku, kdy půdní vlhkost nestačí pokrýt požadavky půdní potenciální evapotranspirace.*“ V našich podmínkách se tedy jedná o sucho způsobené proměnlivostí srážek. (CRITCHFIELD, 1984). Obecně však existuje značná nejednotnost ve výkladu uvedeného pojmu (rozdíl mezi meteorologickým, zemědělským, hydrologickým suchem atd).

srážky velmi malé (do 1 mm) a celkový úhrn srážek nepřekročil max. 5 mm během 5 po sobě jdoucích dnů (Potop a Turkott, 2007). Při hodnocení vlivu teploty bylo využito průměrných normálních měsíčních teplot. Za teplotně nadnormální období, přispívající k větší intenzitě sucha, byla považována ta, kdy průměrná denní teplota byla vyšší než dlouhodobý měsíční průměr po dobu minimálně 5 dnů.

Pro případ analýzy jsme tedy za suchá období považovali časové periody, kdy

- průměrné srážky během časové periody nepřesáhly 1 mm na den a nedošlo k jednorázovému srážkovému úhrnu vyššímu než 6 mm srážek;
- bezsrážkové období trvalo minimálně 10 po sobě jdoucích dnů
- průměrná teplota ve sledované časové periodě byla vyšší než dlouhodobý průměr za daný měsíc

V rámci obou zkoumaných zájmových oblastí bylo identifikováno celkem 13 suchých období.

Tabulka 3 : Suchá období

Časové období	Průměrná teplota za období (°C)	Průměrná měsíční teplota (°C)	Průměrný denní srážkový úhrn (mm)	Průměrný odběr vody za dané období roku (květen – září) (mm)		Průměrný odběr vody (m ³)/ z toho v posledních 5 dnech	
				Hrádek	Strašice	Hrádek	Strašice
30.7.2004–17.8.2004	21,3	17,33	0,55	208	=	288 / 280	=
24.5.2005 – 3.6.2005	19,5	13,57	0,46	356	186	426 / 415	187 / 184
15.6.2005 – 24.6.2005	20,47	15,9	0,42	356	186	432 / 438	164 / 136
23.8.2005 – 9.9.2005	18,6	15,15	0,3	356	186	316 / 377	208 / 252
1.6.2006 – 15.6.2006	16,2	15,9	0,27	303	212	286 / 333	215 / 248
1.7.2006–30.7.2006	23,1	17,5	0,48	303	212	295 / 372	230 / 242
4.9.2006–18.9.2006	18	13,3	0,09	303	212	329 / 335	222 / 228
11.7.2007-20.7.2007	22,48	17,5	0,65	265	188	318 / 339	202 / 232
21.5.2008 – 2.6.2008	17,8	13,2	0,2	293	185	269 / 300	293 / 326
25.7.2008 – 6.8.2008	23,0	17,35	0,26	293	185	363 / 399	212 / 234
23.8.2008 – 2.9.2008	17,5	16,3	0,12	293	185	373 / 349	169 / 173
26.7.2009 – 9.8.2009	20,0	17,2	0,56	357	244	356 / 362	224 / 212
13.8.200–30.9.2009	17,35	14,7	0,365	357	244	348 / 352	260 / 250

Zdroj: vlastní

Jak vyplývá z výše uvedené tabulky, odběr vody se v závislosti na výskytu suchých období v obou územích zvýšil, a to v průměru o 8,5 % během celého suchého období a o 14,5 % během posledních 5 dnů¹³, které šlo považovat za suché období. Odběr vody v obci Hrádek

¹³ V rámci hodnocení vlivu suchých období je nutné počítat s určitým „reakčním obdobím“ na výskyt sucha. Z tohoto důvodu bylo považováno za vhodné analyzovat i posledních 5 dnů ze suchého období. Toto určení je

byl přitom výskytem suchých období ovlivněn více (zvýšení odběru vody o 9,9 % v rámci celého období a o 16 % v posledních 5 dnech), než v obci Strašice (7,1 % a 12,9 %), což bylo pravděpodobně dáno tím, že ve Strašicích jsou studny pro vlastní zajištění vody využívány více než v Hrádku.¹⁴

K určení intenzity sucha je zapotřebí složitých výpočtů, které přesahují rámec této studie (např. Rožnovský, Litschmann, 2004)), proto se omezíme pouze na jednoduché srovnání teploty a průměrného srážkového úhrnu na den. Z tohoto hlediska můžeme za nejintenzivnější sucho považovat období od 25. 7. 2008 – 6. 8. 2008, ve kterém došlo ke zvýšení odběru v obci Hrádek o 23,9 % a během posledních 5 dní dokonce o 36,2 %. V obci Strašice pak došlo ke zvýšení odběru o 14,6 %, respektive 26,5 %.

4. Závěr

Z provedených analýz vyplývají rozporupné výsledky. Analýza na základě metodologie CART sice přináší zjištění, že odběr vody závisí na teplotě ovzduší, ovšem jen velmi málo (s růstem teploty roste spotřeba vody), nicméně proměnná srážky se v rámci statistické analýzy prakticky neuplatnila. Druhým zjištěním je fakt, že predikční schopnost modelu byla velmi nízká až mizivá, z čehož lze usoudit, že klimatické faktory spíše nemají vliv na poptávku po vodě.

Z analýzy sezónní složky pro spotřebu vody, jež byla provedena prostřednictvím dekompozice časové řady, naopak vyplývá, že poptávka po vodě je ovlivněna jednotlivými ročními obdobími a má spíše neklesající charakter. V obou zájmových oblastech vykazovaly měsíce září, říjen, listopad a prosinec nejnižší odběry vody. Měsíce červen a červenec byly naopak odběrově mírně nadprůměrné.

Poslední analýza, zaměřená pouze na identifikaci suchých období, částečně vyvrací závěry analýzy provedené pomocí metodologie CART. V rámci sledovaného období bylo identifikováno celkem 13 suchých období, ve kterých došlo ke zvýšení průměrného odběru vody o 8,5 %. V posledních 5 dnech suchého období to bylo dokonce o 14 %. Výsledky analýzy jsou plně slučitelné s analýzou Downing a kol. (2003), predikující zvýšení celkového ročního odběru vody u domácností v závislosti na klimatické změně o 1,5 – 3 %, v průmyslu o 3,6 – 6,1 % a v zemědělství až o 26 %. Herrington (1996) odhaduje, že dojde k nárůstu poptávky po vodě v roce 2021 (k počátečnímu období 1991) o 29 %, z čehož 4 % budou

čistě intuitivní, nicméně vzhledem k výsledkům provedené analýzy můžeme tuto hypotézu považovat za oprávněnou.

¹⁴ Rozhovor se starostou města Hrádek Ing. Perlíkem a místostarostou obce Strašice Ing. Neradem ze dne 15. 10. 2010.

způsobena klimatickou změnou. Analýza Goodchild (2003) stanovuje průměrné zvýšení odběru vody na obyvatele o 3,3 l/den pro období, vyznačující se vysokou evapotranspirací, nízkými srážkami (do 2 mm) a teplotou vyšší než 25 °C. V případě města Hrádek a obce Strašice by tak došlo v závislosti na těchto výsledcích k zvýšení průměrného denního odběru v suchých obdobích o 3 %, respektive 4 % oproti průměrným odběrům, zjištěným v rámci zkoumané časové řady. Výsledky analýzy Goodchild (2003) a analýzy suchých období jsou tak prakticky identické, i když zvýšení v rámci námi sledovaných zájmových území bylo o něco vyšší (10 %, 8 %).

Všechny tři provedené analýzy vycházejí pouze z údajů o denní spotřebě vody z vodovodního řadu, nezahrnují tedy odběry vody ze studní. Úroveň vlastního zásobování vody prostřednictvím využití podzemních zdrojů, ať již čistě užitkové či pitné vody, lze obtížně podchytit a po rozhovoru se zástupci obou zájmových oblastí odhadujeme její objem v rozmezí od 5 m³ do 12 m³ za celé spotřebišťe (přibližně 2 – 5 %). S přihlédnutím ke skutečnosti, že úroveň hladiny podzemní vody se v posledních letech snížila, můžeme říci, že využívání podzemní vody neustále narůstá, což je způsobeno nejen růstem cen vodného a stočného, ale i faktem, že využívání podzemních vod není zpoplatněno buď vůbec, nebo jen minimálně. Vlastnictví studny tak částečně zkresluje úroveň odběru vody z vodovodní sítě a je otázkou, do jaké míry by došlo ke změně v odběrech, kdyby se tyto zdroje vody staly nevyužitelnými (výrazný pokles spodní vody v obdobích sucha). Kromě toho se v obou zájmových oblastech nacházejí zahrádkářské/chatové oblasti (91 zahrádkářských nemovitostí v oblasti Hrádku, cca 200 v oblasti Strašic), jejichž spotřeba je velmi nepravidelná a odběr vody nejen z vodovodního řadu, ale i z vlastních zdrojů může výrazně skokově zvyšovat poptávku celé oblasti po vodě. Z rozhovorů s obyvateli zájmových oblastí totiž vyplývá, že většina dotazovaných (8 z 11) využívá pro svoji potřebu v teplých obdobích i zdroje podzemní vody.

Z celkových výsledků jednotlivých dílčích analýz usuzujeme, že závislost odběru vody na klimatických faktorech je během celého ročního období malá, jelikož změny v odběrech vody podléhají mnoha dalším faktorům, které nebyly zahrnuty. V rámci modelu, jenž byl zaměřen pouze na suchá období, kdy je predikována nejznatelnější klimatická změna, vychází dílčí závislost na úrovni teploty a srážek. Ze zjištěných údajů můžeme vyvodit závěr, že s rostoucí úrovní intenzity sucha a jeho délky roste i úroveň odběru vody z veřejných zdrojů. Tento nárůst není však tak velký, aby výrazně ovlivnil celkovou spotřebu vody.

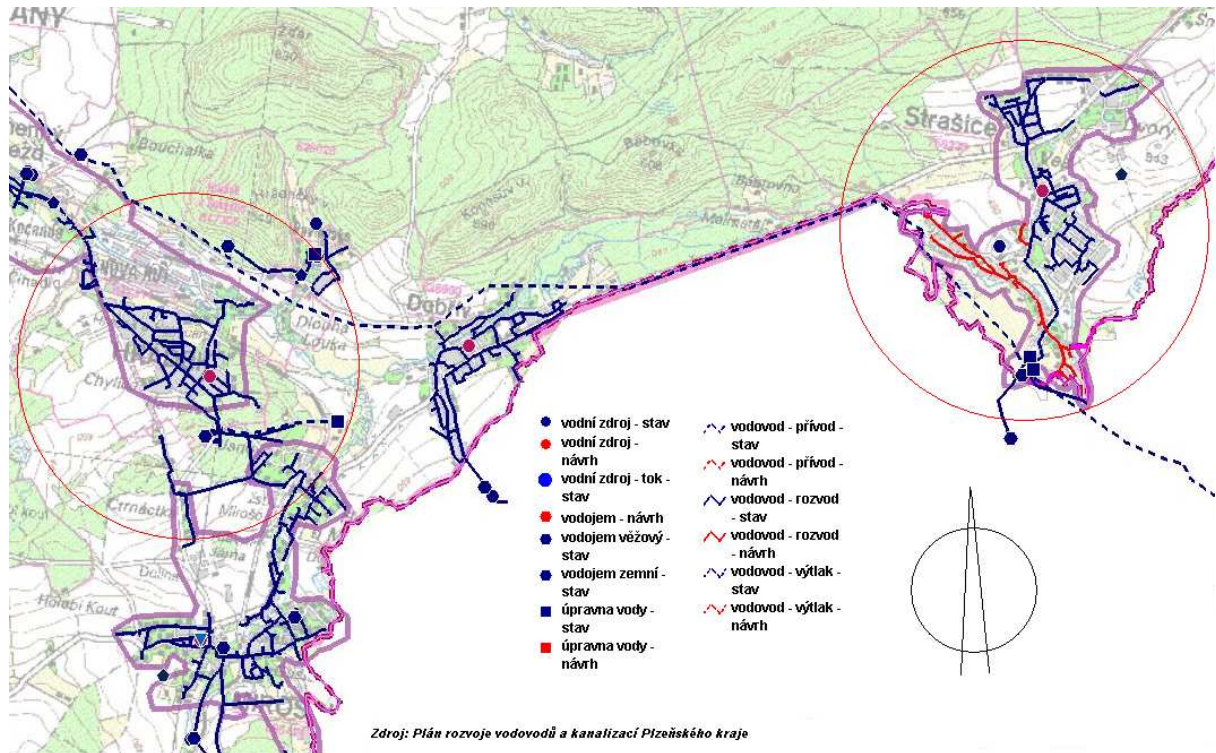
Uvedený výzkum v zájmových oblastech Hrádek a Strašice byl ovlivněn řadou omezení (délka časové řady, možnost získání relevantních odběrových dat apod.), proto jeho výsledky zachycují pouze dílčí skutečnosti. Pro potřeby objektivního ověření dopadu klimatických vlivů na poptávku po vodě v národní dimenzi by bylo zapotřebí rozšířit datový soubor na více různorodých zájmových oblastí a pokusit se prodloužit časový horizont analýzy.

Literatura:

Breiman, Friedman, Olshen, Stone (1984)	Classification and Regressin Trees. Boca Raton, FL: Chapman & Hall, 1984
Burkey (2002)	Residential Water Demand in the Truckee Meadows of Nevada, 2002, University of Nevada, Reno
Cleveland, Cleveland, McRae, Terpenning (1990)	A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess, Journal of Official Statistics, 6 , 3–73.
Critchfield (1984)	General Climatology. 4. vyd., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1983, ISBN 0133492176, p. 453
Downing, Butterfield, Edmonds, Knox, Moss, Piper, Weatherhead(2003)	Climate Change and the Demand for Water, Research Report, Stockholm Environment Institute Oxford Office, Oxford, 2003
Drlička (2004)	Sucha na Moravě a ve Slezsku, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, 2004
Goodchild (2003)	Modelling the impact of climate change on domestic water demand, The Journal, V17 N1, March, 2003, p: 8 - 12
Green (2003)	Handbook of Water Economics, Principles and practice, Wiley, 2003, ISBN 0-471-98571-6
Hanemann (1998)	Determinants of urban water use, In: Baumann, D., D., Boland, J., J., Hanemann, W., M. (Eds.), Urban Water Demand Management and Planning. Mc Graw-Hill, Colorado, 1998, pp. 31–75.
Heim (2002)	A review of twentieth-century drought indices used in the United States, Bulletin of the Americal Meteorology Society, Vol. 83, n. 8, p: 1167—1179, 2002
Herrington (1996)	Climate change and the demand for water, Department of the Environment. HMSO, London, 1996
Hewitt and Hanemann (1995)	A Discrete/Continuous Choice Approach to Residential Water Demand under Block Rate Pricing, Land Economics, 7, 1995, p: 173-92
Christensen, Christensen (2007)	A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century Climatic Change Volume 81, Supplement 1, p:7-30
Kavan, Bravard, Leblois, Daňhelka (2010)	Dopady klimatické změny na hydrologický režim a vodní zdroje v povodí Vltavy, SE KLIMA: Socioekonomická analýza dopadů klimatické změny ve vazbě na vodní hospodářství ČR – efektivnost nákladů vodohospodářských služeb a nástroje jejich regulace, Praha, 2010
<u>Dalhuisen, Florax, De Groot, Nijkamp (2003)</u>	<u>Price and income elasticities of residential water demand: a meta analysis. Land Economics 79, 292–308.</u>
3999999999999999Miao (1990)	Interannual variability of the East Asian monsoon rainfall, 1990, Quart J Appl Meteor 1: 377–382
Nieswiadomy, Molina (1989)	Comparing residential water demand estimates under decreasing and increasing block rates, Land economics, 65 (3), 1989, p: 280 - 289
Petružela (2009)	Hydrosociální bilance - nástroj udržitelného užívání vody, 2009, SE KLIMA QH 91257
Potop, Turkott (2007)	Hodnocení sucha a suchých období v agrometeorologickém roce

	2005/2006 v České republice, Praha, 2007
Pšeničková (2006)	Porovnání klimatické regionalizace ČR Kurpelové a Končeka, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2006
Rámcová směrnice (2000)	Směrnice 2000/20/ES evropského parlamentu a rady, ustavující rámec pro činnost společenství v oblasti vodní politiky, (anglická verze a paralelní český překlad, MŽP, květen, 2001)
Renwick, Green (2000)	Do Residential Water Demand Side Management Policies Measure Up? An Analysis of Eight California Water Agencies', Journal of Environmental Economics and Management, 2000, p: 37-55.
Rožnovský, Litschmann, (2004)	Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): Seminář „Extrémy počasí a podnebí“, Hodnocení sucha roku 2003 na území ČR, Brno, 11. března 2004, ISBN 80-86690-12-1
Schleich, Hillenbrand (2008)	Determinants of residential water demand in Germany, Ecological Economics, Vol. 68 (Dec., 2008), p: 1756 – 1769
<u>Veck, Bill (1998)</u>	<u>Estimation of the residential price elasticity of demand for water by means of a contingent valuation approach Report No 790/1/00, 2003</u>

Příloha č. 1: Soustavy Janov (Hrádek) a Strašice



<http://prvak.plzensky-kraj.cz/>

Příloha č. 2: Stanovení regresních stromů

Model	Parametr složitosti cp	Počet provedených štěpení	Relativní chyba = RSS_{null} / RSS_{model}	Cross-validační chyba	Směrodatná odchylka Cross-validační chyby
1	0,059296	0	1,0000	1,0016	0,0309
2	0,016948	1	0,9407	0,9461	0,0289
3	0,011323	2	0,9238	0,9348	0,0293
4	0,010213	4	0,9011	0,9313	0,0293
5	0,006466	5	0,8909	0,9105	0,0288
6	0,00594	6	0,8844	0,9138	0,0289
7	0,005372	7	0,8785	0,9130	0,0289
8	0,005021	8	0,8731	0,9184	0,0294
9	0,004836	9	0,8681	0,9160	0,0295
10	0,004682	10	0,8633	0,9174	0,0297
11	0,00398	12	0,8539	0,9144	0,0297
12	0,00377	15	0,8420	0,9214	0,0303
13	0,003187	17	0,8344	0,9207	0,0304
14	0,003132	19	0,8280	0,9193	0,0305
15	0,002906	22	0,8184	0,9253	0,0308
16	0,002655	23	0,8155	0,9271	0,0305
17	0,002562	25	0,8102	0,9351	0,0310
18	0,0023	27	0,8050	0,9351	0,0309
19	0,002237	30	0,7981	0,9474	0,0315
20	0,002205	31	0,7959	0,9496	0,0317
21	0,002157	32	0,7937	0,9484	0,0317
22	0,002139	36	0,7851	0,9510	0,0318
23	0,002098	37	0,7829	0,9527	0,0319
24	0,002043	39	0,7787	0,9556	0,0319
25	0,002032	40	0,7767	0,9533	0,0317
26	0,001951	43	0,7706	0,9528	0,0318
27	0,00188	45	0,7667	0,9534	0,0319
28	0,001688	46	0,7648	0,9655	0,0326
29	0,001665	48	0,7614	0,9663	0,0326
30	0,001661	54	0,7512	0,9665	0,0326
31	0,001574	55	0,7495	0,9675	0,0327
32	0,00154	57	0,7464	0,9672	0,0326
33	0,001538	58	0,7448	0,9674	0,0327
34	0,001476	61	0,7402	0,9687	0,0328
35	0,001428	62	0,7387	0,9672	0,0326
36	0,001424	64	0,7359	0,9682	0,0327
37	0,001414	65	0,7345	0,9679	0,0327
38	0,001323	66	0,7330	0,9735	0,0328
39	0,001298	69	0,7291	0,9707	0,0329
40	0,001282	70	0,7278	0,9705	0,0329
41	0,001269	71	0,7265	0,9709	0,0329
42	0,001268	72	0,7252	0,9709	0,0329
43	0,001216	73	0,7240	0,9722	0,0329
44	0,001194	74	0,7227	0,9724	0,0329
45	0,001193	75	0,7216	0,9726	0,0329
46	0,001184	78	0,7180	0,9737	0,0330
47	0,001142	79	0,7168	0,9731	0,0330
48	0,001141	80	0,7156	0,9742	0,0330
49	0,001125	82	0,7134	0,9736	0,0330
50	0,001096	83	0,7122	0,9736	0,0331
51	0,001085	87	0,7079	0,9740	0,0331
52	0,001045	92	0,7023	0,9751	0,0330
53	0,001031	93	0,7013	0,9739	0,0331
54	0,001018	94	0,7003	0,9741	0,0331
55	0,001006	95	0,6993	0,9760	0,0331
56	0,001	97	0,6972	0,9761	0,0331

Příloha č. 3: Regresní strom

